Technical Note

Public Works Canada | Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 996-9617

No. 8: November, 1982

A Simple Method for Measuring the Yield Strength of Steel

1. SYNOPSIS

A portable Rockwell hardness tester can be used to quickly determine the yield strengths of the steel beams and joists in roof structures. These can then be used to determine whether the roof members can carry the extra loads caused by a solar collector installation. The procedure for using a hardness tester to measure yield strength is described.

2. INTRODUCTION

Most collector installations to date have been on the roofs of existing, rather than new buildings. A major problem facing the structural engineer is to ensure that the roof is strong enough to carry the extra load caused by snow drifting between collectors. For steel framed buildings, the yield strength of the steel in the roof structure must first be determined. Structural engineering calculations must then be done to determine whether the strengths of the roof members are adequate.

The conventional approach for measuring yield strength is to cut and then test coupons from the structure. This approach can be expensive and on a small job can result in a disproportionate amount of the total job cost. Another approach is to use the code specified value of yield strength for unknown steel. Sometimes this is conservative, and may result in unnecessary strengthening of the roof. The purpose of this Technical Note is to describe a third approach, one where a portable Rockwell tester is used to measure yield strength. The method is simple, fast, accurate, economical and non-destructive.

Although the use of a hardness tester to measure yield strength is well known to metallurgists and mechanical engineers, it is not as well known to structural engineers, even though the investigation of existing buildings is a very practical application for this technique. The particular method that will be described here is based on a procedure developed by metallurgists working in the automotive industry to measure the yield strength of sheet steel used in car bodies. However, it first had to be modified so that it could be used with the mild steel beams and columns used in building construction. A total of 20 tests were conducted on coupons cut from various structures to determine the accuracy of the approach. These tests are described later in this note.

3. APPROACH

3.1 Portable Rockwell Type Hardness Testers

An example of a portable Rockwell type hardness tester is shown in Figure 1. Testers such as this are available commercially, and cost about $2,000. Metallurgists use them for measuring the hardness of steel, but here they will be used for measuring its yield strength.

The tester is used to push a penetrator, in this case a small steel ball, into the surface of the steel under examination. The Rockwell number depends on the load that is applied, and the corresponding depth of penetration.

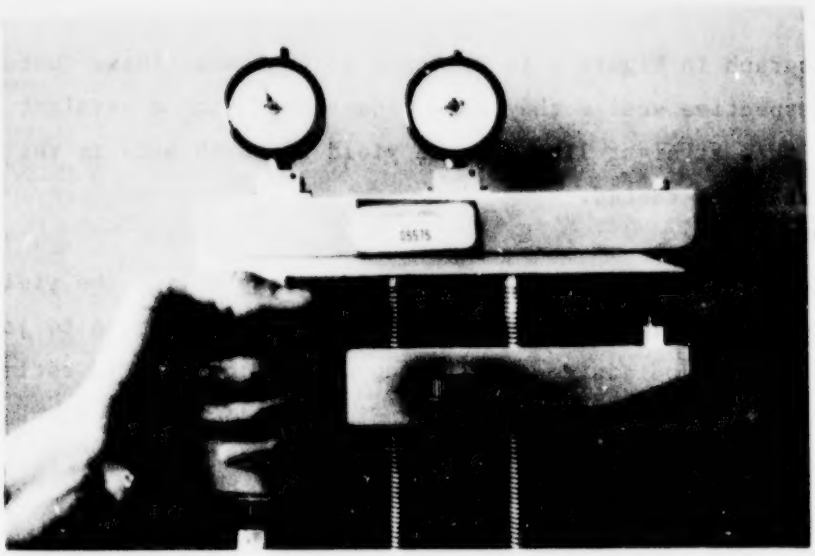

Fig. 1 A portable Rockwell type hardness tester.

3.2 Using the Tester to Measure Yield Strength

The tester is used to measure three different Rockwell hardness numbers - R_f, R_b and R_g. This is done several times, and the averages of these numbers are used with the nomograph in Figure 2 to determine the yield strength of the steel.

The nomograph in Figure 2 is arranged so that when these numbers are plotted on their respective scales they can be connected with a straight line. The intercept between this straight line and the yield strength axis is the yield strength for the steel being tested.

If the three points lie on a reasonably straight line the yield strength can be estimated directly from Figure 2 by using a straightedge to join the points. However, if the points do not line up it is necessary to estimate the "best fit" line, as is done for the example in Figure 3.

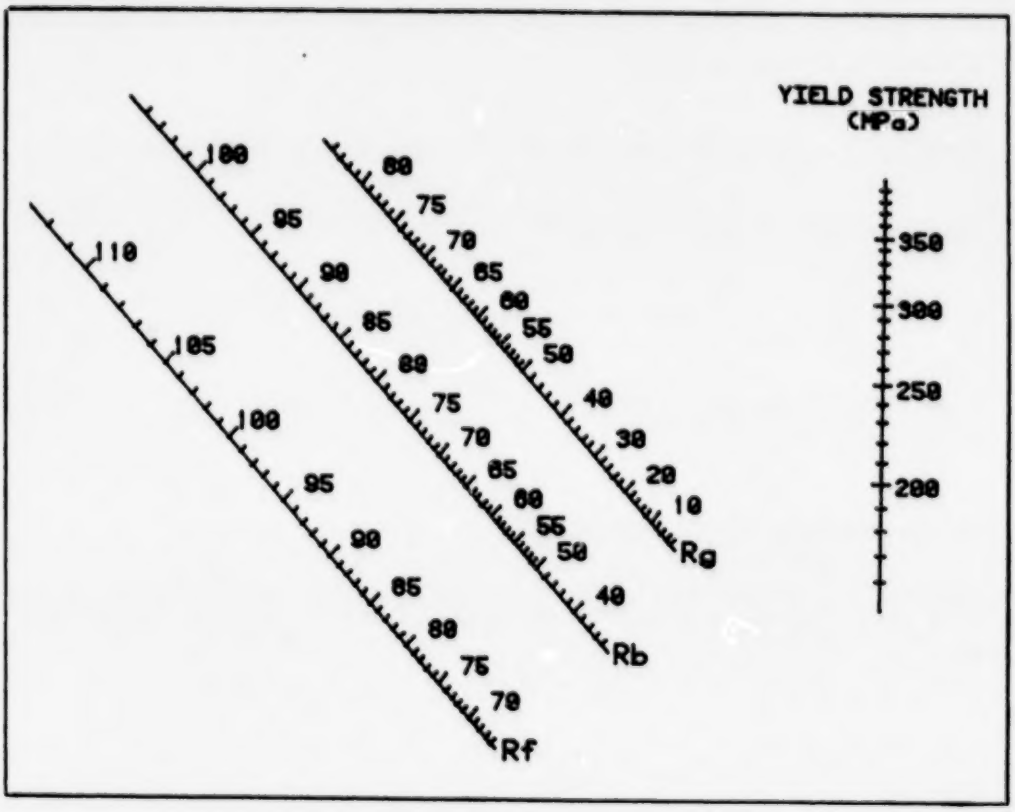

Fig. 2 Nomograph for estimating the yield strength of mild steel.

3.3 Procedure

1. The surface to be tested must be clean, dry, and free from paint, rust and mill scale. Grinding with a fine grindstone produces an acceptable surface; polishing is not necessary.

2. Position the steel surface between the penetrator and the anvil.

3. Clamp the tester to the member.

4. Zero the load dial, and then apply the pre-load.

5. Zero the Rockwell number dial.

6. Load smoothly and evenly up to load A on the dial. Wait two seconds, unload to the pre-load level, and read R_f.

7. Load up to level B. Wait two seconds, unload to the pre-load level, and read R_b.

8. Load up to level C. Wait two seconds, unload to the pre-load level, and read R_g.

9. Unload completely, and remove the tester from the member.

10. Repeat steps (2-9) at two or three other locations, and find the average values of R_f, R_b and R_g.

Test	R_f	R_b	R_g	σy (MPa)	σest (MPa)	$\frac{\sigma y}{\sigma est}$
1	102	77	47	289	263	1.101
2	98	71	40	248	258	.960
3	100	79	44	276	273	1.011
4	104	83	50	303	268	1.132
5	101	78	47	289	278	1.042
6	99	72	36	220	234	.942
7	99	74	39	211	250	.845
8	98	72	37	219	247	.888
9	101	76	44	222	257	.864
10	104	83	53	279	287	.973
11	101	78	45	274	266	1.031
12	97	70	34	234	240	.978
13	97	69	32	253	230	1.098
14	105	85	57	334	305	1.095
15	103	83	54	305	309	.986
16	104	83	52	263	280	.940
17	103	81	52	265	290	.916
18	105	83	55	324	285	1.135
19	110	94	69	331	342	.968
20	102	78	47	280	265	1.054

Table 1. Test Results

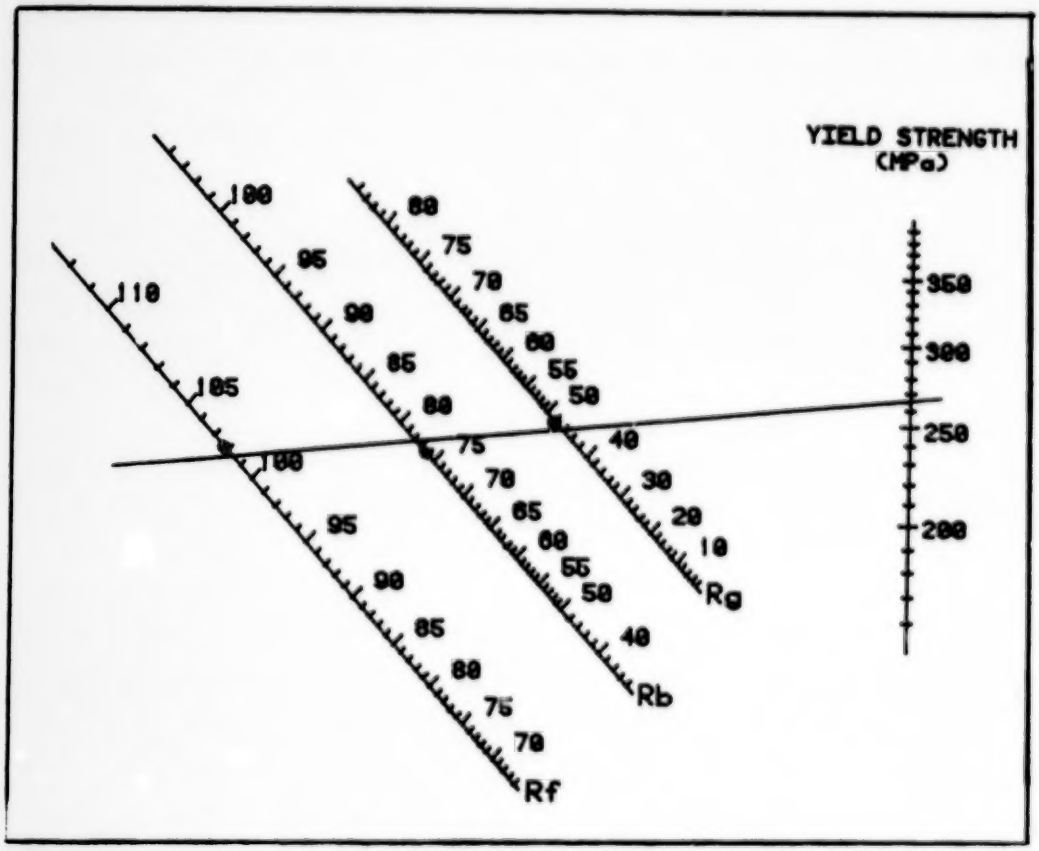

Fig. 3 Example showing use of nomograph for results of Test 1, Table 1.

4. DISCUSSION

4.1 Accuracy

In order to indicate the accuracy of the approach, a comparison is made in Table 1 of the actual yield strength, σy, with the estimated yield strength, σest, for 20 different steel samples. The Rockwell hardness numbers R_f, R_b and R_g are shown in Table 1 columns 2 to 4. The actual yield strengths, determined from coupon tests, are shown in column 5. The yield strengths estimated using the nomograph are shown in column 6. The ratios of these values, an indication of the accuracy of the approach, are shown in the last column. The estimated yield strengths are usually within about 10 per cent of the actual yield strengths, however, in a few cases they are out by more than this. To account for this uncertainty, a "special" factor of safety has been derived for use with the yield strength determined by using the hardness tester.

4.2 Limitations

The nomograph in Figure 2 can be used only with mild steel such as that used in wide flange steel beams. It cannot be used with other types of steel, for instance with cold rolled steel used in joist chords. Future work will include the development of nomographs for other types of steel.

5. REFERENCE

George, R.A., Dinda, S., and Kasper, A.S., "Estimating Yield Strength from Hardness Data", Metal Progress, May, 1976, pp. 30-35.

This Technical Note contains a summary of work developed by Don Nixon and Mathew Chan of Public Works Canada, and by Greg Clark of J.L. Richards and Associates. A more detailed paper is being prepared for submission to the Canadian Journal of Civil Engineering. Anyone interested in using the method should obtain a copy of the draft paper from:

Don Nixon
Structural Engineer
Civil Engineering Division
Technology
Public Works Canada
Sir Charles Tupper Building
Riverside Drive
Ottawa, Ontario K1A 0M2

(613) 998-4790

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9817

N° 8: novembre, 1982

Une méthode simple pour mesurer la limite d'élasticité de l'acier

1. SOMMAIRE

Un appareil d'essai de dureté Rockwell portable permet de déterminer rapidement les limites d'élasticité des poutres et solives de toit. Ces limites peuvent ensure être utilisées pour évaluer l'aptitude des éléments de toit à supporter les surcharges produites par l'installation de capteurs solaires. La présente note d'information technique décrit la méthode d'utilisation d'un appareil d'essai de dureté pour mesurer la limite d'élasticité.

2. INTRODUCTION

La plupart des installations de capteurs ont jusqu'ici été faites sur les toits de bâtiments existants plutôt que sur ceux de bâtiments nouveaux. Une des principales difficultés rencontrées par l'ingénieur dans le calcul d'une installation de capteurs solaires sur le toit d'un bâtiment existant consiste à s'assurer que le toit est en mesure de résister aux surcharges dues à l'accumulation de neige entre les capteurs. Dans le cas des bâtiments à ossature en acier, on doit d'abord déterminer la limite d'élasticité de l'acier du toit. Des calculs de charpente doivent alors être faits pour déterminer si les éléments de toit ont des limites appropriées.

La méthode classique de mesure de la limite d'élasticité consiste à découper des éprouvettes dans les pièces d'ossature et à les soumettre aux essais. Cette méthode peut toutefois s'avérer onéreuse et représenter une fraction démesurée du côut total dans le cas de travaux de faible envergure. Une autre méthode consiste à utiliser la valeur de limite d'élasticité prévue par les codes pour un acier inconnu. Cette valeur est parfois trop conservatrice et peut mener à la construction d'un toit ayant une résistance inutilement forte. La présente note d'information technique décrit une troisième méthode utilisant un appareil d'essai de dureté Rockwell portable pour déterminer les limites d'élasticité. Cette méthode est simple, rapide, précise, économique et non destructive.

Bien que l'utilisation d'un appareil d'essai de dureté pour mesurer les limites d'élasticité soit bien connue des métallurgistes et des ingénieurs en mécanique, elle ne l'est pas autant des ingénieurs en charpente; l'analyse des bâtiments existants constitue pourtant une application très pratique de cette technique. La méthode décrite ici est basée sur une technique développée par des métallurgistes de l'industrie automobile pour mesurer la limite d'élasticité de la tôle d'acier utilisée pour les carrosseries. Il a d'abord fallu la modifier de manière à pouvoir l'utiliser pour les colonnes et poutres d'acier doux utilisées dans la construction des bâtiments. Au total, 20 essais ont été effectués sur des éprouvettes découpées dans l'ossature de différentes structures pour vérifier la précision de la méthode. Ces essais sont décrits plus bas.

3. PRINCIPE

3.1 Appareil d'essai de dureté Rockwell portable

La figure 1 illustre un exemple d'appareil d'essai de duretée Rockwell portable. De tels appareils sont disponibles sur le marché et coûtent environ $2 000. Le métallurgiste utilise cet appareil pour juger de la dureté de l'acier, mais aux fins de la présente méthode, il sert à mesurer la limite d'élascité.

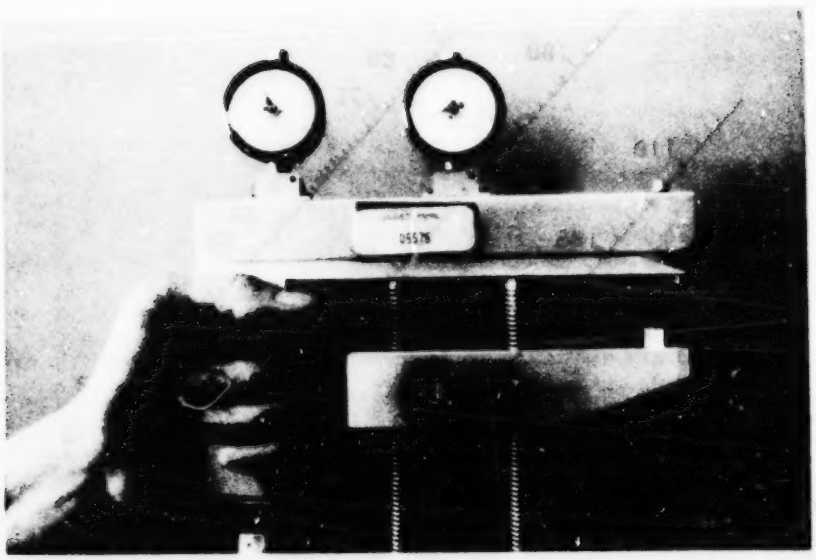

FIGURE 1 Appareil d'essai de dureté Rockwell portable

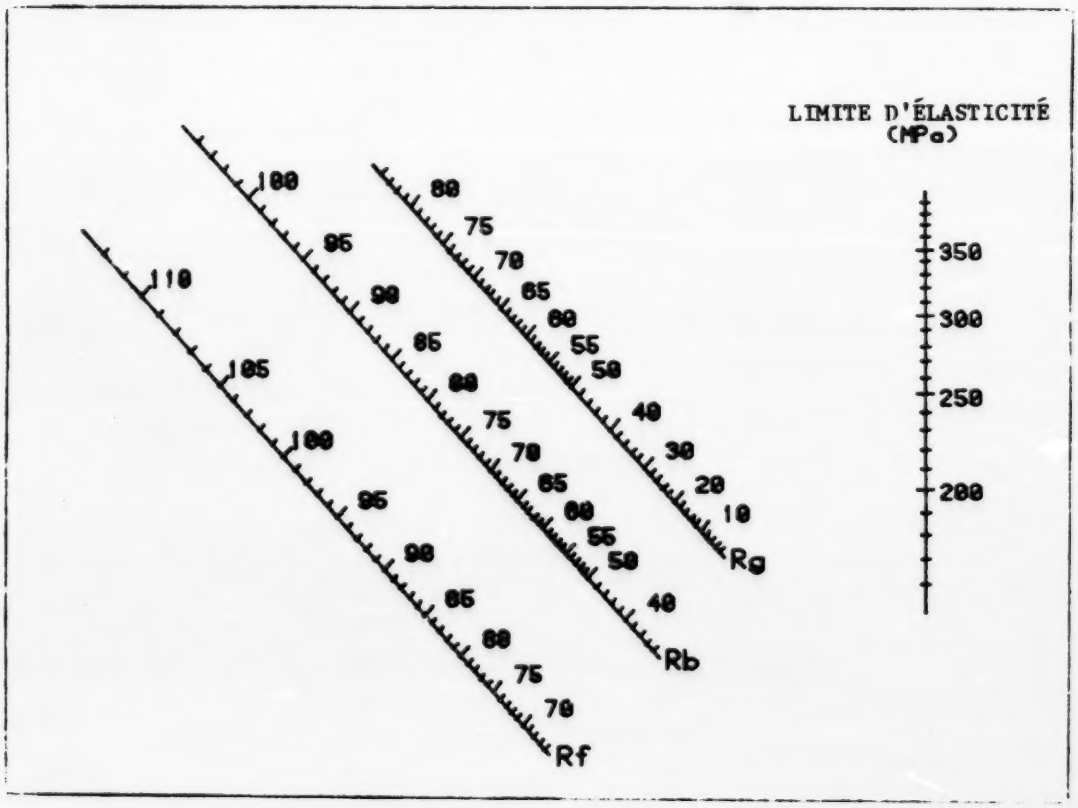

FIGURE 2 Abaque pour évaluer la limite d'élasticité de l'acier doux

L'appareil imprime un pénétrateur, dans ce cas une petite bille d'acier, dans la surface de l'acier mis à l'essai. Le nombre Rockwell dépend de la charge appliquée et de la profondeur de pénétration correspondante.

3.2 Utilisation de l'appareil d'essai pour mesurer la limite d'élasticité

On utilise l'appareil d'essai pour déterminer trois différents nombres de dureté Rockwell, R_f, R_b et R_g. On répète des mesures trois fois et les moyennes des duretés mesurées sont reportées sur l'abaque de la figure 2 pour établir la limite d'élasticité de l'acier.

L'abaque de la figure 2 est conçu de sorte qu'on puisse raccorder par une droite les nombres portés sur leur échelle respective. On obtient la limite d'élasticité de l'acier étudié a l'intersection de cette droite et de l'axe de limite d'élasticité.

Lorsque les points sont relativement bien alignés, ont peut lire la limite d'élasticité directement au moyen d'une règle sur la figure 2. Toutefois, lorsque les points ne suivent pas une droite, il faut tracer la droite qui s'approche le plus des trois points comme sur la figure 3.

3.3 Méthode

1. La surface mise à l'essai doit être propre, sèche et exempte de peinture, de rouille et de calamine. On peut obtenir une surface acceptable avec une meule douce; il n'est pas nécessaire de polir.

2. Mettre la surface d'acier entre le pénétrateur et l'enclume.

3. Serrer l'appareil d'essai sur la pièce.

4. Mettre le cadran à zéro et appliquer la charge initiale.

5. Mettre le cadran Rockwell a zéro.

6. Appliquer la charge lentement et régulièrement jusqu'au niveau A sur le cadran. Attendre deux secondes, revenir à la charge initiale et lire R_f.

7. Charger jusqu'au niveau B. Attendre deux secondes, revenir à la charge initiale et lire R_b.

8. Charger jusqu'au niveau C. Attendre deux secondes, revenir à la charge initiale et lire R_g.

9. Décharger complètement et enlever l'appareil d'essai de la pièce.

10. Répéter les étapes 2 à 9 à deux autres endroits et calculer les valeurs moyennes de R_f, R_b et R_g.

4. ANALYSE

4.1 Précision

Comme indication de la précision de la méthode, le tableau 1 compare la limite d'élasticité réelle, σy, avec la limite d'élasticité approximative, σapp, pour 20 éprouvettes d'acier différentes. Les nombres de dureté Rockwell R_f, R_b et R_g sont indiqués au tableau 1, colonnes 2, 3 et 4. Les limites d'élasticité réelles, déterminées à partir d'essais sur des éprouvettes découpées, sont indiquées à la colonne 5. A la colonne 6, on a inscrit les limites d'élasticité mesurées au moyen de l'abaque. Le rapport de ces valeurs, une indication de la précision de la méthode, apparaît dans la dernière colonne. On voit que les limites d'élasticité approximatives se situent en deça de 10 pour cent des limites réelles à quelques exceptions près. Pour compenser cette incertitude, on a établi un facteur de sécurité spécial pour cette méthode.

Essai	R_f	R_b	R_g	y (MPa)	app (MPa)	$\frac{y}{app}$
1	102	77	47	289	263	1.101
2	98	71	40	248	258	.960
3	100	79	44	276	273	1.011
4	104	83	50	303	268	1.132
5	101	78	47	289	278	1.042
6	99	72	36	220	234	.942
7	99	74	39	211	250	.845
8	98	72	37	219	247	.888
9	101	76	44	222	257	.864
10	104	83	53	279	287	.973
11	101	78	45	274	266	1.031
12	97	70	34	234	240	.978
13	97	69	32	253	230	1.098
14	105	85	57	334	305	1.095
15	103	83	54	305	309	.986
16	104	83	52	263	280	.940
17	103	81	52	265	290	.916
18	105	83	55	324	285	1.135
19	110	94	69	331	342	.968
20	102	78	47	280	265	1.054

Tableau 1. Résultats d'essai

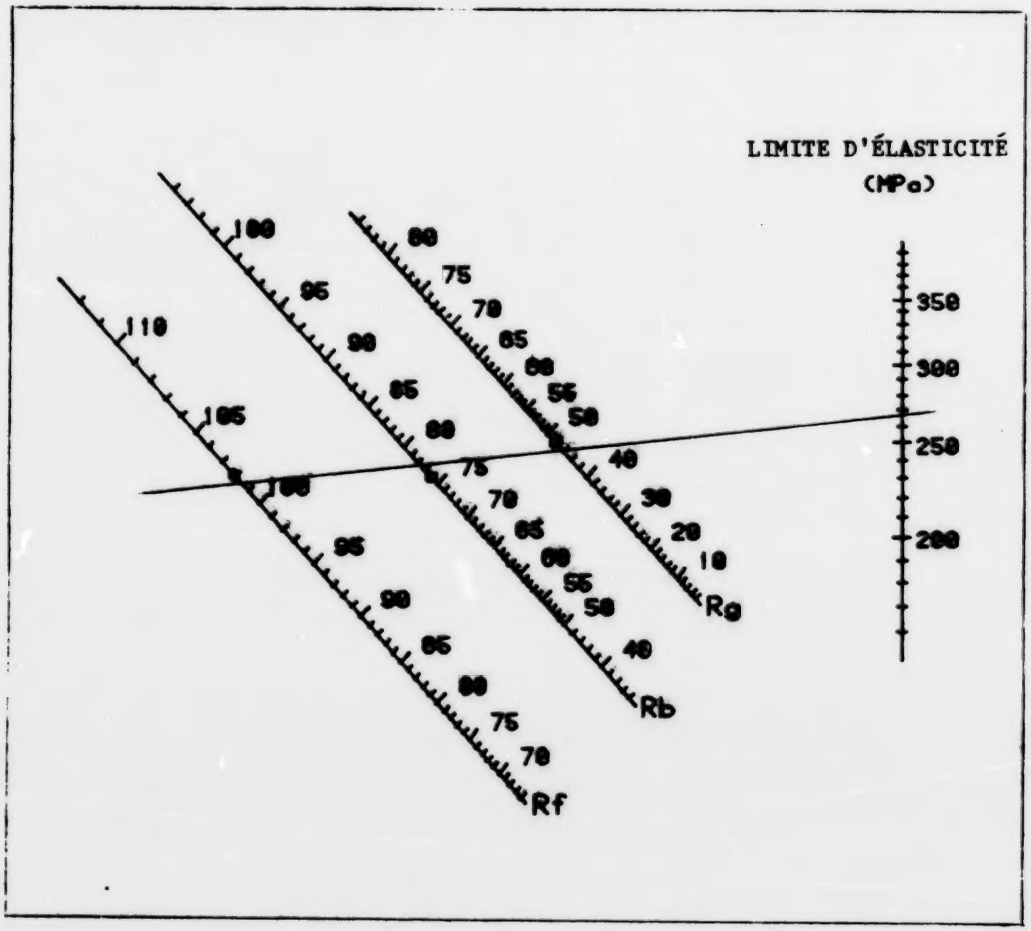

FIGURE 3 Utilisation d'abaque pour les résultats de l'essai I.

4.2 Limitations

L'abaque de la figure 2 ne peut être utilisé que pour l'acier doux comme celui que l'on retrouve dans les poutres à semelles larges. Il ne peut être utilisé pour d'autres types d'acier comme l'acier laminée à frois des membrures de solives. On prévoit la mise au point d'abaques pour d'autres types d'acier.

5. RÉFÉRENCES

George, R.A., Dinda, S., and Kasper, A.S. "Estimating Yield Strength from Hardness Data", Metal Progress, May, 1976, p. 30-35.

La présente note d'information technique contient un sommaire des travaux de Don Nixon et de Mathew Chan de Travaux Public Canada, et de Greg Clark et J.L. Richards & Associates. Un document plus détaillé est en préparation et sera soumis au "Canadian Journal of Civil Engineering". Les personnes intéressées à utiliser cette méthode de mesure de la limite d'élasticité de l'acier peuvent obtenir une copie du document de travail à:

Don Nixon
Ingénieur des structures
Division du génie civil
Technologie
Travaux publics Canada
Édifice Sir Charles Tupper
Promenade Riverside
Ottawa (Ontario)
K1A 0M2

(613) 998-4790